

504p0571w000

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-8935

(P 2 0 0 3 - 8 9 3 5 A)

(43) 公開日 平成15年 1 月10日 (2003. 1. 10)

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テ-マコード (参考)
H04N 5/20		H04N 5/20	5B057
G06T 5/00	100	G06T 5/00	5C021
		5/20	C 5C077
H04N 1/407		H04N 1/40	101 E

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全18頁)

(21) 出願番号 特願2001-187146 (P 2001-187146)

(22) 出願日 平成13年 6 月20日 (2001. 6. 20)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号

(72) 発明者 緒形 昌美

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号 ソニ

一株式会社内

(72) 発明者 上田 和彦

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号 ソニ

一株式会社内

(74) 代理人 100098785

弁理士 藤島 洋一郎

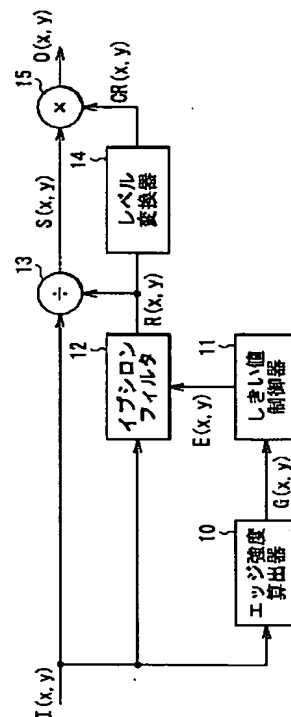
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 イプシロンフィルタを用いて、複数の異なる照明が存在する場合にも、それらの境界を適切に抽出することを可能とし、不自然な画像パターンの発生を抑えて、主観的に好ましいダイナミックレンジの圧縮を実現する。

【解決手段】 入力画像上の各位置ごとにエッジ強度 $G(x, y)$ を算出し、そのエッジ強度 $G(x, y)$ に基づいて、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 $E(x, y)$ を制御する。イプシロンフィルタ 12 は、その制御されたしきい値 $E(x, y)$ に基づいて入力画像にフィルタ処理を施す。エッジ強度 $G(x, y)$ に基づいて、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 E を画素値 $I(x, y)$ の局所的な勾配に応じて適応的に変化させるようにしたので、線形ローパスフィルタを用いた場合やしきい値固定のイプシロンフィルタを用いた場合よりも、より正確に照明境界が抽出される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力された画像を、相対的によりダイナミックレンジの小さい画像に変換するための画像処理方法であって、

入力画像上の各位置ごとにエッジ強度を算出するエッジ強度算出過程と、

算出された前記エッジ強度に基づいて、イプシロンフィルタのしきい値を制御するしきい値制御過程と、

前記しきい値制御過程において制御されたしきい値を用いて、前記入力画像に前記イプシロンフィルタによるフ

ィルタ処理を施すフィルタリング過程と、
前記フィルタリング過程の出力値に応じて、画素値を変換するための係数を算出し、その算出した係数により、各画素ごとに画素値の変換を行う画素値変換過程とを含むことを特徴とする画像処理方法。

【請求項 2】 前記エッジ強度算出過程では、前記エッジ強度として、注目画素の近傍領域内の画素値の 1 次微分値が大きいほど大きな値を算出することを特徴とする請求項 1 記載の画像処理方法。

【請求項 3】 前記しきい値制御過程では、前記エッジ強度が大きいほど、前記しきい値が小さくなるように前記しきい値を制御することを特徴とする請求項 1 記載の画像処理方法。

【請求項 4】 前記しきい値制御過程では、前記入力画像の画素値が大きいほど前記しきい値が大きくなると共に、前記エッジ強度が大きいほど前記しきい値が小さくなるように前記しきい値を制御することを特徴とする請求項 1 記載の画像処理方法。

【請求項 5】 前記しきい値制御過程において、大きさの異なる 2 つのしきい値を算出し、

前記フィルタリング過程において、近傍画素の値が注目画素に比べて大きい場合と小さい場合とで異なるしきい値を用いることを特徴とする請求項 1 記載の画像処理方法。

【請求項 6】 前記フィルタリング過程において、近傍画素の値が注目画素の値よりも大きい場合には、前記 2 つのしきい値のうち、値の大きい方のしきい値を用い、近傍画素の値が注目画素の値よりも小さい場合には、値の小さい方のしきい値を用いることを特徴とする請求項 5 記載の画像処理方法。

【請求項 7】 さらに、前記入力画像の画素レベルに、非線形な変換を施す過程を有し、
その非線形な変換が行われた後の入力画像に対して前記イプシロンフィルタによるフィルタ処理を施すことを特徴とする請求項 1 記載の画像処理方法。

【請求項 8】 前記非線形変換は対数変換であることを特徴とする請求項 7 記載の画像処理方法。

【請求項 9】 入力された画像を、相対的によりダイナミックレンジの小さい画像に変換するための画像処理装置であって、

入力画像上の各位置ごとにエッジ強度を算出するエッジ強度算出手段と、

設定されたしきい値を用いて、前記入力画像にフィルタ処理を施すイプシロンフィルタと、

前記エッジ強度算出手段によって算出された前記エッジ強度に基づいて、前記イプシロンフィルタで用いられるしきい値を制御するしきい値制御手段と、

前記イプシロンフィルタからの出力値に応じて、画素値を変換するための係数を算出し、その算出した係数により、各画素ごとに画素値の変換を行う画素値変換手段とを備えたことを特徴とする画像処理装置。

【請求項 10】 前記エッジ強度算出手段は、前記エッジ強度として、注目画素の近傍領域内の画素値の 1 次微分値が大きいほど大きな値を算出するよう構成されていることを特徴とする請求項 9 記載の画像処理装置。

【請求項 11】 前記しきい値制御手段は、前記エッジ強度が大きいほど、前記しきい値が小さくなるように前記しきい値を制御することを特徴とする請求項 9 記載の画像処理装置。

【請求項 12】 前記しきい値制御手段は、前記入力画像の画素値が大きいほど前記しきい値が大きくなると共に、前記エッジ強度が大きいほど前記しきい値が小さくなるように前記しきい値を制御することを特徴とする請求項 9 記載の画像処理装置。

【請求項 13】 前記しきい値制御手段は、大きさの異なる 2 つのしきい値を算出し、
前記イプシロンフィルタは、近傍画素の値が注目画素に比べて大きい場合と小さい場合とで異なるしきい値を用いるよう構成されていることを特徴とする請求項 9 記載の画像処理装置。

【請求項 14】 前記イプシロンフィルタは、近傍画素の値が注目画素の値よりも大きい場合には、前記 2 つのしきい値のうち、値の大きい方のしきい値を用い、近傍画素の値が注目画素の値よりも小さい場合には、値の小さい方のしきい値を用いるよう構成されていることを特徴とする請求項 13 記載の画像処理装置。

【請求項 15】 さらに、前記入力画像の画素レベルに、非線形な変換を施す手段を有し、
前記イプシロンフィルタは、前記非線形な変換が行われた後の入力画像に対して前記フィルタ処理を施すよう構成されていることを特徴とする請求項 9 記載の画像処理装置。

【請求項 16】 前記非線形な変換を施す手段は、前記入力画像の画素レベルに対数変換を施すものであることを特徴とする請求項 15 記載の画像処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、テレビジョン、ビデオテープレコーダー、スチルカメラ、ビデオカメラおよびプリンタなど、各種の画像の入出力装置に好適に利

用可能なものであり、特に、入力された画像を、相対的によりダイナミックレンジの狭い画像装置において再現するための画像処理方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば画像の階調特性の変換のために、入力画像の各画素に対し、そのレベルを図18の実線で示すような入出力関係を持つ関数（以下、「レベル変換関数」と記す。）で変換する方法（以下、「レベル変換」と記す。）がある。図18において、横軸は入力画像の画素レベル（入力レベル） l を、縦軸はレベル変換処理による出力画像の画素レベル（出力レベル） $T(l)$ を表す。 L_{max} は、入出力画像の各画素が取り得る最大レベルを表す。レベル変換後の画像のコントラストは、レベル変換関数の傾きが大きいほど増加することになる。図18の例では、入力レベル l_b を境にして高レベル側と入力レベル l_s を境にして低レベル側におけるレベル変換関数を示す直線の傾きが、中間レベル（入力レベル $l_s \sim l_b$ ）の傾きに比べて小さくなっている。従って、図18に示した関数を用いたレベル変換では、高レベルおよび低レベルにおけるコントラストを犠牲にすることで、中間レベルのコントラストを増加させていることになる。

【0003】レベル変換関数は、図18に示したものに限らず、例えば図19の実線で示したものをを用いることもできる。図19に示したレベル変換関数は、入力レベル l_k を境にして、高レベル側における直線の傾きが、低レベル、中間レベルでの傾きに比べて小さくなっている。従って、図19に示した関数を用いたレベル変換では、高レベルでのコントラストを犠牲にすることで、低レベル、中間レベルでのコントラストを増加させることができる。また、以下の（1）式のガンマ関数や（2）式のLOG関数等、図18および図19に示した関数に比べて、より連続的なレベル変換関数が用いられることもある。なお、（1）式における g は関数の傾きを調整するパラメータである。

【0004】

【数1】

$$T(l) = \left(\frac{l}{L_{max}} \right)^g \times L_{max} \quad \dots (1)$$

【0005】

【数2】

$$T(l) = \frac{\log(l)}{\log(L_{max})} \times L_{max} \quad \dots (2)$$

【0006】また、さらに別の従来例としては、入力画像の画素レベルの頻度分布に応じて、レベル変換関数を適応的に変化させる方法があり、その代表例としてはヒストグラムイコライゼーションと呼ばれる方法が挙げられる。図20（A）、（B）に、このヒストグラムイコライゼーションの原理を示す。図20（A）において、

$$O(x, y) = \log(I(x, y)) - \log(LPF(I(x, y))) \quad \dots (5)$$

横軸は入力画像の画素レベル（入力レベル） l を、縦軸は度数（頻度または累積頻度）を表す。 F_{max} は、累積頻度の最大値であり、頻度を算出するために用いる画素の総数である。この方法では、図20（A）に示したように、はじめに入力画像の画素レベル l に関する頻度分布 $H(l)$ が生成され、次に以下の（3）式を用いて累積頻度分布 $C(l)$ が生成される。

【0007】

【数3】

$$C(l) = \sum_{k=0}^l H(k) \quad \dots (3)$$

【0008】この累積頻度分布 $C(l)$ の縦軸を、以下の（4）式を用いて出力画像が取り得るレベル範囲に正規化することにより、レベル変換関数 $T(l)$ が生成される（図20（B））。この関数 $T(l)$ を用いることにより、出現頻度の高いレベルによって構成される領域（面積が大きい領域）のコントラストを増加させることが可能となる。

【0009】

【数4】

$$T(l) = \frac{C(l)}{F_{max}} \times L_{max} \quad \dots (4)$$

【0010】入力された画像を、よりダイナミックレンジの小さい、すなわち画素レベルを表現するビット数が少ない環境で利用する場合（ビット数の少ない伝送路で伝送する場合や、表示装置に表示する場合、あるいは記憶装置に保存する場合など）には、ダイナミックレンジの圧縮を行う必要がある。従来は、このような目的でのダイナミックレンジの圧縮処理にも、上述した方法と同様のレベル変換が用いられている。ただし、この場合には、レベル変換関数の出力画像の最大レベルが、入力画像のそれよりも小さい値となる。

【0011】一方、文献「Z. Rahman, et, alt.: "A Multiscale retinex for color rendition and dynamic range compression in Applications of Digital image Processing", XIX Proc. SPIE 2847 (1996)」では、空間的に緩やかに変化する照明光の成分をローパスフィルタによって抽出し、これを圧縮することで全体的なダイナミックレンジを圧縮する方法が提案されている（以下、この方法を「Multiscale retinex法」と記す。）。照明成分の抽出には帯域の狭い線形ローパスフィルタが用いられている。この方法では、以下の（5）式に示すように、入力画素の値 $I(x, y)$ 、およびローパスフィルタ出力 $LPF(I(x, y))$ の対数値を取り、前者から後者を差し引くことによりダイナミックレンジの圧縮が行われる。

【0012】

【数5】

【0013】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来のレベル変換方法では、不自然な画像が生成されるのを回避するため、単調増加性を有するレベル変換関数を用いている。このため、いずれかのレベル範囲のコントラスト（レベル変換関数の傾き）を増加させた場合、他のレベル範囲では逆にコントラストが低下してしまうといった問題がある。

【0014】また、Multiscale retinex法では、単調増加性を犠牲にすることで、よりコントラストの高い画像を再現することを可能としているが、照明条件が急激に切り替わる場合、線形フィルタではその変化を抽出することができず、主観的に好ましくないノイズが発生してしまうという問題がある。

【0015】例えば、図21に示すように、照明条件の異なる2つの領域が隣接している画像（図中、実線）に対して線形ローパスフィルタを施すと、図中、細い破線で示したように境界のぼけた信号がフィルタ出力として得られる。これを照明成分と見なした場合、照明境界の左側の領域（B領域）において、境界付近（BNB領域）は、境界より離れた部分（BFB領域）よりも照明レベルが低いことになる。上述の（5）式は入力信号を照明成分で割り算することと等価であり、照明成分が大きいほど大きく圧縮されることを意味するため、結果として再現画像（図中、太い破線）のBNB領域にはオーバーシュートが発生する。逆に、照明境界の右側の領域（D領域）において、境界付近（DNB領域）は、境界より離れた部分（DFB）に比べて照明レベルが高いと見なされてアンダーシュートが発生する。Multiscale retinex法ではこの問題を回避するためにスケールの異なる複数の線形ローパスフィルタを用い、それぞれのローパスフィルタによって得られる結果を線形荷重によって合成する方法を用いているが、各スケールに対する重みは固定されており、上記の問題を十分に抑制できていない。

【0016】そこで、照明成分の抽出に線形ローパスフィルタではなく、例えばイプシロンフィルタなどの非線形フィルタを用いることが考えられる。イプシロンフィルタは、線形フィルタに比べエッジを保存する能力にすぐれ、異なる照明光が存在する画像においても照明成分をより有効に抽出することができる。しかしながら、ノイズ除去などを目的に一般的に用いられているしきい値固定のイプシロンフィルタでは、その出力にエッジ近傍において不連続な波形が形成されるため、これをダイナミックレンジの圧縮用に用いた場合、圧縮後の再現画像に原画像にはない不自然な画像パターンが発生する可能性がある。

【0017】本発明はかかる問題点を鑑みてなされたもので、その目的は、イプシロンフィルタを用いて、複数の異なる照明が存在する場合にも、それらの境界を適切

に抽出することを可能とし、不自然な画像パターンの発生を抑えて、主観的に好ましいダイナミックレンジの圧縮を実現できる画像処理方法および装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明による画像処理方法は、入力画像上の各位置ごとにエッジ強度を算出するエッジ強度算出過程と、算出されたエッジ強度に基づいて、イプシロンフィルタのしきい値を制御するしきい値制御過程と、しきい値制御過程において制御されたしきい値を用いて、入力画像にイプシロンフィルタによるフィルタ処理を施すフィルタリング過程と、フィルタリング過程の出力値に応じて、画素値を変換するための係数を算出し、その算出した係数により、各画素ごとに画素値の変換を行う画素値変換過程とを含むものである。

【0019】本発明による画像処理装置は、入力画像上の各位置ごとにエッジ強度を算出するエッジ強度算出手段と、設定されたしきい値を用いて、入力画像にフィルタ処理を施すイプシロンフィルタと、エッジ強度算出手段によって算出されたエッジ強度に基づいて、イプシロンフィルタで用いられるしきい値を制御するしきい値制御手段と、イプシロンフィルタからの出力値に応じて、画素値を変換するための係数を算出し、その算出した係数により、各画素ごとに画素値の変換を行う画素値変換手段とを備えたものである。

【0020】本発明による画像処理方法および装置では、入力画像上の各位置ごとにエッジ強度が算出され、その算出されたエッジ強度に基づいて、イプシロンフィルタで用いられるしきい値が制御される。そして、イプシロンフィルタからの出力値に応じて、画素値を変換するための係数が算出され、その算出された係数により、各画素ごとに画素値の変換が行われる。これにより、複数の異なる照明が存在する場合にも、イプシロンフィルタによるフィルタ処理において、それらの境界の抽出を適切に行うことが可能とされる。

【0021】本発明において、イプシロンフィルタのしきい値は、例えば、エッジ強度が大きいほど値が小さくなるように制御される。このとき、さらに、入力画像の画素値が大きいほどしきい値を大きくするように制御しても良い。これにより、イプシロンフィルタによるフィルタ処理において、画素値の変化における照明レベルの影響が軽減され、より適切に照明成分の抽出がなされる。

【0022】また、大きさの異なる2つのしきい値を算出して、しきい値の制御を行うようにしても良い。このとき、イプシロンフィルタでは、例えば、近傍画素の値が目画素に比べて大きい場合と小さい場合とで異なるしきい値を用いてフィルタ処理を行う。これによっても、フィルタ処理において、画素値の変化における照明レベルの影響が軽減され、より適切に照明成分の抽出が

なされる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0024】【第1の実施の形態】まず、本実施の形態に係る画像処理装置において処理される入力画像信号について説明する。本画像処理装置において処理される入力画像信号は、2次元デジタル画像を図2に示すように水平方向、垂直方向の順に走査して得られた時系列な画素値の信号である。本実施の形態では、2次元画像上の 10 任意の位置 (x, y) に対応する画素値を I (x, y) と表し、これを入力画像信号として処理する。

$$G(x, y) = [I(x-d, y) - I(x+d, y)] / \dots (6)$$

【0028】あるいは、ノイズの影響を抑えるために平滑化効果を持つ以下の (7) 式による値をエッジ強度 G (x, y) として用いることも可能である。

$$G(x, y) = \left[\sum_{dy=-d}^d [I(x-d, y+dy) - I(x+d, y+dy)] \right] / \dots (7)$$

【0030】ここで、(6)、(7) 式において、d は微分を算出するための微小距離を示す定数である。エッジ強度算出器 10 において算出されたエッジ強度 G (x, y) は、しきい値制御器 11 に送られる。

【0031】しきい値制御器 11 は、エッジ強度算出器 10 によって算出されたエッジ強度 G (x, y) に基づき、後述のイプシロンフィルタ 12 で用いるしきい値 E

$$E(x, y) = \begin{cases} E_{min} & \dots G(x, y) > G_{max} \\ \frac{G_{max} - G(x, y)}{G_{max} - G_{min}} (E_{max} - E_{min}) + E_{min} & \dots G_{min} \leq G(x, y) \leq G_{max} \\ E_{max} & \dots G(x, y) < G_{min} \end{cases} \dots (8)$$

【0033】(8) 式において、Gmin, Gmax, Emin, Emax は、エッジ強度 G (x, y) をしきい値 E (x, y) に変換するための定数であり、それぞれエッジ強度の最小値、最大値、しきい値 E (x, y) の最小値、最大値を表している。しきい値制御器 11 において決定されたしきい値 E (x, y) は、イプシロンフィルタ 12 に送られる。

【0034】イプシロンフィルタ 12 は、図4に示したように、例えば、差分器 20 と、絶対値算出器 21 と、比較器 22 と、線形ローパスフィルタ (図では LPF と記す。) 23 とを有して構成されている。このイプシロンフィルタ 12 は、2次元のフィルタであり、しきい値制御器 11 によって決定されたしきい値 E (x, y) を用いて、入力画像に非線形なフィルタ処理を施す機能を有している。イプシロンフィルタ 12 の出力 R (x, y) は、照明成分として除算器 13 およびレベル変換器 14 に送られる。

【0025】次に、本実施の形態に係る画像処理装置の構成について説明する。本画像処理装置は、図1に示したように、エッジ強度算出器 10 と、しきい値制御器 11 と、イプシロンフィルタ 12 と、除算器 13 と、レベル変換器 14 と、乗算器 15 とを備えている。

【0026】エッジ強度算出器 10 は、入力画像の各位置において画素値 I (x, y) のエッジ強度 G (x, y) を算出する機能を有している。エッジ強度 G (x, y) としては、例えば以下の (6) 式で与えられるような I (x, y) の 1 次微分値を用いることができる。

【0027】

【数6】

【0029】

【数7】

(x, y) の大きさを画素ごとに決定する機能を有している。しきい値制御器 11 の機能により、しきい値 E (x, y) は、例えば以下の (8) 式を用いることにより、エッジ強度 G (x, y) が大きいほど小さな値となるように制御される。

【0032】

【数8】

【0035】除算器 13 は、入力画像からイプシロンフィルタ 12 で算出された照明成分を除去するために、以下の (9) 式に示すように、入力画像の各画素値 I (x, y) を照明成分 R (x, y) で割り算するようになっている。割り算した結果得られる非照明成分 S (x, y) は、乗算器 15 に送られる。

【0036】

【数9】

$$S(x, y) = \frac{I(x, y)}{R(x, y)} \dots (9)$$

【0037】レベル変換器 14 は、イプシロンフィルタ 12 で算出された照明成分 R (x, y) を、以下の (10) 式に示すように、レベル変換関数 T (1) によってレベル変換することによって圧縮し、補正照明成分 CR (x, y) を算出する機能を有している。

【0038】

【数10】

$$CR(x, y) = T(R(x, y)) \quad \dots (10)$$

【0039】レベル変換器 14 で用いるレベル変換関数 $T(1)$ としては、例えば図 3 に示すような関数を用いることができる。なお、図 3 において、 R_{max} 、 CR_{max} は、それぞれ入力レベルおよび出力レベルの最大値を表している。

【0040】乗算器 15 は、以下の (11) 式に示すように、非照明成分 $S(x, y)$ に補正照明成分 $CR(x, y)$ を積算することで画像信号を復元するようになっている。復元された結果を示す画像信号 $O(x, y)$ は、図示しない伝送路、記憶装置、または表示装置などに出力される。

【0041】

【数 11】

$$O(x, y) = S(x, y)CR(x, y) \quad \dots (11)$$

【0042】なお、本実施の形態において、除算器 13、レベル変換器 14 および乗算器 15 が、本発明における「画素値変換手段」の一具体例に対応する。

【0043】次に、以上のように構成された画像処理装置の作用、動作を説明する。なお、以下の説明は、本実施の形態に係る画像処理方法の説明を兼ねている。

【0044】本画像処理装置において、入力画像を示す信号は、エッジ強度算出器 10、イプシロンフィルタ 12 および乗算器 13 に入力される。まず、エッジ強度算出器 10 では、入力画像の各位置ごとにエッジの大きさ、すなわちエッジ強度 $G(x, y)$ を算出する。このとき、エッジ強度算出器 10 は、例えば上述の (6) 式または (7) 式を用いることにより、注目画素の近傍領域内の画素値の 1 次微分値が大きいほど大きな値となるようにして、エッジ強度 $G(x, y)$ を算出する。エッジ強度算出器 10 は、算出したエッジ強度 $G(x, y)$ をしきい値制御器 11 に出力する。

【0045】しきい値制御器 11 では、エッジ強度 $G(x, y)$ に基づいて、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 E を制御する。より詳しくは、しきい値制御器 11 は、例えば上述の (8) 式を用いて、しきい値 $E(x, y)$ の大きさを画素ごとに決定し、エッジ強度 $G(x, y)$ が大きいほどしきい値 $E(x, y)$ が小さくなるように制御する。しきい値制御器 11 は、決定されたしきい値 $E(x, y)$ をイプシロンフィルタ 12 に出力する。

$$J(dx, dy) = \begin{cases} I(x, y) & \dots AD(dx, dy) > E(x, y) \\ I(x+dx, y+dy) & \dots AD(dx, dy) \leq E(x, y) \end{cases} \quad \dots (12)$$

【0051】線形ローパスフィルタ 23 では、近傍領域 NB 内のすべての画素に対応する値 $J(dx, dy)$ が比較器 22 によって算出された時点で、以下の (13) 式による加重平均値 $R(x, y)$ を算出する。

【0052】

【数 13】

$$R(x, y) = \frac{\sum_{(dx, dy) \in NB} a(dx, dy) J(dx, dy)}{N} \quad \dots (13)$$

【0053】ここで、NB はフィルタリング処理における近傍領域を定義する相対的な座標の集合である。ま

【0046】イプシロンフィルタ 12 では、しきい値制御器 11 によって決定されたしきい値 $E(x, y)$ を用いて、入力画像にフィルタ処理を施す。

【0047】イプシロンフィルタ 12 でのフィルタ処理は、より詳しくは、例えば図 4 に示した構成により、以下のように行われる。イプシロンフィルタ 12 において、差分器 20 には、図 4 に示したように、現在の注目画素の値 $I(x, y)$ を示す信号とその近傍領域 NB 内の画素の値 $I(x+dx, y+dy)$ を示す信号とが入力される。差分器 20 では、注目画素の値 $I(x, y)$ とその近傍領域 NB 内の画素の値 $I(x+dx, y+dy)$ との差分を算出する。差分器 20 では、近傍領域 NB 内のすべての画素に対して順次この差分値を計算し、各近傍画素に対応づけて、その値 $D(dx, dy)$ を絶対値算出器 21 に出力する。

【0048】絶対値算出器 21 では、差分器 20 より送られてくる各差分値 $D(dx, dy)$ の絶対値 $AD(dx, dy)$ を算出する。絶対値算出器 21 では、算出した絶対値 $AD(dx, dy)$ を比較器 22 に出力する。

【0049】比較器 22 には、絶対値算出器 21 で算出された絶対値 $AD(dx, dy)$ が入力されると共に、注目画素の値 $I(x, y)$ を示す信号およびその近傍領域 NB 内の画素の値 $I(x+dx, y+dy)$ を示す信号、ならびに、しきい値制御器 11 で決定されたしきい値 $E(x, y)$ が入力される。比較器 22 では、以下の (12) 式に示すように、絶対値 $AD(dx, dy)$ としきい値 $E(x, y)$ とを比較し、その結果に応じて、注目画素の値 $I(x, y)$ または近傍画素の値 $I(x+dx, y+dy)$ のいずれか一方を選択し、それを値 $J(dx, dy)$ として線形ローパスフィルタ 23 に出力する。

【0050】

【数 12】

た、 $a(dx, dy)$ は各画素値に対する重み係数であり、この線形ローパスフィルタ 23 としては、例えば以下の (14) 式に示すような平均値フィルタなどを用いることができる。

【0054】

【数 14】

$$R(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{(dx, dy) \in NB} J(dx, dy) \quad \dots (14)$$

【0055】(14) 式において、N は近傍領域内 NB の画素の数を表している。なお、イプシロンフィルタ 1

2の目的は、画像中の細かい構造を除去し、まとまった領域を抽出することであり、その近傍領域は大きい方が望ましい。

【0056】以上のようにしてイプシロンフィルタ12で得られた値 $R(x, y)$ は、近似的に画像に含まれる照明成分を表しているものと考えられる。イプシロンフィルタ12は、値 $R(x, y)$ を照明成分として除算器13およびレベル変換器14に出力する。

【0057】除算器13では、上述の(9)式に示したように、入力画像の各画素値 $I(x, y)$ を照明成分 $R(x, y)$ で除算することにより、入力画像からイプシロンフィルタ12で算出された照明成分を除去し、その結果得られる非照明成分 $S(x, y)$ を乗算器15に出力する。

【0058】一方、レベル変換器14では、イプシロンフィルタ12で算出された照明成分 $R(x, y)$ を、例えば図3に示すようなレベル変換関数 $T(1)$ によってレベル変換することによって圧縮し、補正照明成分 $CR(x, y)$ を算出する。レベル変換器14は、算出した補正照明成分 $CR(x, y)$ を乗算器15に出力する。

【0059】乗算器15では、除算器13からの出力である非照明成分 $S(x, y)$ にレベル変換器14からの出力である補正照明成分 $CR(x, y)$ を積算することで画像信号を復元する。ここで、以上の除算器13、レベル変換器14および乗算器15での全体の演算について考察すると、非照明成分 $S(x, y)$ に補正照明成分 $CR(x, y)$ を積算することは、後述する(16)式に示すように、イプシロンフィルタ12からの出力値 $R(x, y)$ に応じて画素値を変換するための係数 $F(R(x, y))$ を算出し、それを対応する入力画素値 $I(x, y)$ に積算することで、各画素ごとに画素値の変換を行ってダイナミックレンジの圧縮を行っていることに相当する。

【0060】以上のようにして乗算器15から出力される画像信号 $O(x, y)$ は、入力画像よりも相対的にダイナミックレンジの狭い画像装置、すなわち画素レベルを表現するビット数が少ない環境(ビット数の少ない伝送路で伝送する場合や、表示装置に表示する場合、あるいは記憶装置に保存する場合など)において利用される。

【0061】次に、図5および図6を参照して、本実施の形態におけるイプシロンフィルタ12を用いてダイナミックレンジの圧縮を行った場合の、従来法(単調増加性を有するレベル変換関数を用いて圧縮を行う場合)に対する有効性について説明する。

【0062】図5(A)は、入力画像の画素値 $I(x, y)$ 、および本実施の形態におけるイプシロンフィルタ12からの出力 $R(x, y)$ を1次元信号として表した図である。図5(B)は、図5(A)に示した入力画像に対して従来のレベル変換法によるダイナミックレンジ

の圧縮を行った結果(再現画像)を示し、図5(C)は本実施の形態におけるダイナミックレンジの圧縮を行った結果を示す。

【0063】また、図6(A)、(B)には、各領域の画素レベルとレベル変換関数 $T(1)$ 、および係数算出関数 $F(1)$ との関係を示す。ここで、係数算出関数 $F(1)$ とは、レベル変換関数 $T(1)$ を用いて以下の(15)式のように定義される。

【0064】

【数15】

$$F(1) = \frac{T(1)}{1} \quad \dots (15)$$

【0065】この係数算出関数 $F(1)$ を用い、上述の(9)式および(10)式を考慮することで、出力画像 $O(x, y)$ を与える(11)式は、以下の(16)式のように書き換えることが可能となる。

【0066】

【数16】

$$O(x, y) = I(x, y)F(R(x, y)) \quad \dots (16)$$

【0067】この(16)式は、照明成分 $R(x, y)$ の圧縮によるダイナミックレンジの圧縮が、画素ごとに算出される係数 $F(R(x, y))$ を、対応する入力画素値 $I(x, y)$ に積算することで実現できることを示している。このとき、係数算出関数 $F(1)$ は、イプシロンフィルタ12の出力値を各画素に施すゲイン係数に変換する機能を持つ。なお、図6(B)における係数算出関数 $F(1)$ の値の最小値 C_{min} は、次の(17)式で与えられることになる。

【0068】

【数17】

$$C_{min} = \frac{CR_{max}}{R_{max}} \quad \dots (17)$$

【0069】図5(B)からも分かるように、従来法は低レベル領域(図5(A)に示すレベル11とレベル13とで構成されている領域)でのコントラストを保存することができるが、高レベル領域(レベル14とレベル16とで構成されている領域)においてはコントラストの低下を招いている。これは、変曲点 $1k$ 以上の高いレベルに対するレベル変換関数 $T(1)$ の傾きの影響を直接的に受けた結果である。従来法においてコントラストを向上させるためにはレベル変換関数 $T(1)$ の傾きを大きくする必要がある。

【0070】これに対し、本実施の形態(図5(C))では、高レベル領域および低レベル領域のそれぞれには、係数算出関数 $F(1)$ によって与えられる単一の補正係数が施されるため、各領域内のコントラストはこの補正係数の大きさに依存することになる。本実施の形態では、低レベル領域に対してはその平均レベル12によって決まる補正係数が一様に施されるが、その値は、レベル11およびレベル13に対するものと同じ1.0で

あり、従来法と同程度のコントラストが得られる。また、高レベル領域に対しては、その平均値 15 で決まる一定の補正係数 $c5$ が施されるため、レベル 14 の部分とレベル 16 の部分の間のコントラストは、このゲインで確保されることになる。

【0071】実際、図 6 (A) に示すような、傾きの異なる 2 本の直線からなるレベル変換関数 $T(1)$ を用い、その変極点レベル lk 以上に対応する直線が以下の (18) 式で表される場合には、従来法における高レベル領域のコントラストはその直線の傾き a に依存し、
「 $a(16-14)/15$ 」で与えられる。ただし、ここではコントラストを「(最大レベル最小レベル) / 平均レベル」で定義している。

【0072】

【数 18】

$$T(1) = a1 + b \cdots l \geq lk \cdots (18)$$

【0073】一方、本実施の形態において高レベル領域に適用される補正係数 $c5$ は、以下の (19) 式で与えられる。

【0074】

【数 19】

$$c5 = \frac{a \times 15 + b}{15} = a + \frac{b}{15} \cdots (19)$$

【0075】従って、本実施の形態では、この領域のコントラストは、 $c5(16-14)/15 = \{a(16-14)/15\} + \{b/(15 \times 15)\}$ となるが、ダイナミックレンジの圧縮におけるレベル変換関数 $T(1)$ の高レベルにおける傾きは通常 1、0 より小さいため、切片 b は常に正の値を取る。このことは、従来法に比べて、イプシロンフィルタ 12 を用いた本実施の形態による方法がより高いコントラストを実現できることを示している。

【0076】このように、本実施の形態においては、イプシロンフィルタ 12 によって抽出された領域内のコントラストが、係数算出関数 $F(1)$ によって与えられる補正係数の値そのものによって決まり、レベル変換関数 $T(1)$ の傾きは領域間のコントラストに影響を及ぼすことになる。従って、本実施の形態によれば、領域間のコントラストを圧縮することにより、領域内のコントラストを保存することができ、主観的に好ましい出力画像を得ることができる。

【0077】次に、線形ローパスフィルタを用いた従来法に対する本実施の形態の効果について説明する。ただしここでは、説明を簡単にするため画像を 1 次元信号として表す。従来法の問題点は既に「発明が解決しようとする課題」の項目において図 21 を用いて説明したとおりであるが、その問題点を解決するためには、照明条件の異なる領域の境界（照明境界）を保存したまま、同一照明下の領域内を平滑化する必要がある。ところで、経験上、照明強度の変化に起因する画素レベルの変化は、

物体表面の反射率に起因する画素レベルの変化よりもはるかに大きく、その結果、照明境界では画素レベルの大きなエッジが発生することになる。

【0078】図 7 (A) に示すように、このようなエッジ周辺では、イプシロンフィルタ 12 の注目画素の近傍領域 NB 内にしきい値 $E(x, y)$ を超える大きな差分絶対値 $AD(dx, dy)$ を与える画素値 $I(x + dx, y + dy)$ が存在することになる。この画素値 $I(x + dx, y + dy)$ は、比較器 22 (図 4) によって、図 7 (A) の太い破線 ($I'(dx, dy)$) で示すように、現在の注目画素の値（近傍領域 NB 中央の値） $I(x, y)$ に置き換えられるため、(13) 式による平滑化には大きく寄与せず、結果的にエッジの形状が保存されることになる。これに対し、照明境界以外の部分では、図 7 (B) に示すように、画素レベルの変化はそれほど大きなものにはならず、注目画素の近傍領域 NB 全体に渡り、差分絶対値 $AD(dx, dy)$ がしきい値 $E(x, y)$ よりも小さくなる。この場合、(12) 式の $J(dx, dy)$ はすべて入力画素値 $I(x + dx, y + dy)$ と等しく、イプシロンフィルタは単純な線形ローパスフィルタと等価になり、近傍領域 NB 全体に渡る平滑化が行われる。

【0079】このようにイプシロンフィルタ 12 は、線形フィルタに比べエッジを保存する能力にすぐれ、異なる照明光が存在する画像においても照明成分をより有効に抽出することができる。しかしながら、ノイズ除去などを目的に一般的に用いられているしきい値固定の従来のイプシロンフィルタでは、その出力にエッジ近傍において不連続な波形が形成されるため、これをダイナミックレンジの圧縮用に用いた場合、圧縮後の再現画像に原画像にはない不自然な画像パターンが発生する可能性がある。

【0080】この問題点を説明するために、図 8

(A), (B) にモデル化したエッジとその周辺におけるしきい値固定の従来のイプシロンフィルタの出力を示す。ここではエッジ中央部から高レベル側のみを考え、レベルが急激に変化するエッジ部分は傾き a の直線で、それ以外のエッジ周辺部分は傾き 0 の平坦な直線で近似している。図 8 (A), (B) では、入力信号を細い実線 81 で、イプシロンフィルタの出力を太い実線 82 で、対応する線形ローパスフィルタの出力を太い破線 83 で示す。また、用いるイプシロンフィルタでの注目画素の近傍領域の大きさを N 、そのしきい値を E とする。図 8 (A) は、 a, N, E の間に以下の (20) 式の関係が成立している場合のイプシロンフィルタの出力である。

【0081】

【数 20】

$$N < \frac{2E}{a} \cdots (20)$$

【0082】図8(A)において、横軸は空間的な位置座標を表し、右に行くほど座標値が大きくなるものとする。p0は、エッジの立下り点peからN/2だけ離れた位置を示している。この場合、イプシロンフィルタは線形ローパスフィルタと同等に振る舞う。しかしながら、照明光の変化による画像上のレベル変化は急峻に生じること（傾きaが大きい）、また上述したように効果的なダイナミックレンジの圧縮を行うためには大きなフィルタを用いる必要があること（Nが大きい）から、照明条件が変化する照明境界では通常（20）式の条件は成立しないと考えられる。

【0083】一方、図8(B)には、（20）式が成立しない場合のイプシロンフィルタの出力を示す。図8

(B)において、出力波形を右側から左側へと見ていくと、p0からp0-E/aまでは線形フィルタと同じ出力となり、その後peまでは一定の値を出力する。peからpe-E/aまでは2次曲線に従って下降するが、

（20）式が成立しない条件のもとでは、この間に必ず入力信号を示す直線81と交差する。pe-E/aでは不連続的に入力信号と同じ値になり、その後入力信号をそのまま出力することになる。しきい値固定のイプシロンフィルタのこの振る舞いは、単純化したエッジモデルに対するものであるが、エッジ付近で複雑な波形を出力することは明らかである。特に、pe-E/aのあたりでは不連続に変化し、入力信号よりも大きな傾きを持った波形を出力する。

【0084】出力画像O(x, y)が自然な再現画像となるためには、画像上の各位置における局所的な形状（空間的勾配の向き）が保存されていることが必要となる。すなわち、以下の（21）式に示すように、出力画像O(x, y)の微分値O'(x, y)の符号と入力画像I(x, y)の微分値I'(x, y)の符号とが一致しなければならない。

$$\begin{cases} \frac{R'(x, y)}{R(x, y)} - \frac{CR'(x, y)}{CR(x, y)} \leq \frac{I'}{I} & \dots I' \geq 0 \\ \frac{R'(x, y)}{R(x, y)} - \frac{CR'(x, y)}{CR(x, y)} > \frac{I'}{I} & \dots I' < 0 \end{cases} \dots (23)$$

【0091】この条件に対するレベル変換関数T(1)の関与をさらに明確にするために、図10にイプシロンフィルタの出力に対するレベル変換関数T(1)の出力の関係を示す。横軸はイプシロンフィルタの出力（レベル変換関数T(1)への入力）、縦軸はレベル変換関数T(1)の出力を表している。いま、ある画素のイプシロンフィルタの出力をR、そのレベル変換後の値をCRとし、これらの比の値CR/Rをaとする。すなわち、aは原点と(R, CR)を通過する直線の傾きに相当する（（24）式）。

【0092】

【数24】

$$CR = aR \dots (24)$$

【0085】

【数21】

$$\text{sign}(O'(x, y)) = \text{sign}(I'(x, y)) \dots (21)$$

【0086】ここで、sign(x)はxの符号を表す。

（21）式の条件が満たされない場合、入力画像と出力画像との間でレベル勾配の逆転が生じ、入力画像には存在しない画像パターンが出力画像に現れることになる。例えば図9(A)に示す入力画像が、図9(B)に示すように出力される。図9(B)の出力画像では、レベル勾配の逆転により、入力画像には存在しないパターン90が出現している。しかし、図8(B)に示すエッジ付近におけるイプシロンフィルタの不連続な振る舞いは、この（21）式の条件の成立を困難にする可能性があり、レベル勾配の逆転が生じるおそれがある。

【0087】（21）式が成立するか否かは、イプシロンフィルタの振る舞いとその出力に施されるレベル変換関数T(1)に依存する。このことを明らかにするために、はじめに（11）式に（9）式を代入して入力画像I(x, y)と出力画像O(x, y)との関係（22）式を得る。

【0088】

【数22】

$$O(x, y) = I(x, y) \frac{CR(x, y)}{R(x, y)} \dots (22)$$

【0089】（22）式の右辺におけるCR(x, y)/R(x, y)は、先に述べた係数算出関数F(R(x, y))に相当する。（22）式の両辺を微分し、（21）式に代入することで、出力画像O(x, y)が満たすべき条件は以下の（23）式のように表されることになる。

【0090】

【数23】

【0093】またこの同じ画素におけるイプシロンフィルタの出力の空間微分値をR'のすると、これは図10の横軸上におけるRを中心とする微小範囲の大きさに相当するものと考えられる（ただしRは微分値を算出する画像上の方向に応じて適当な符号を有する）。従って、Rに対応するレベル変換関数T(1)の1に関する微係数をbのすると、レベル変換後の空間微分値は以下の（25）式によって近似できる。

【0094】

【数25】

$$CR' = bR' \dots (25)$$

【0095】（24）式および（25）式を（22）式に代入することで、イプシロンフィルタの出力に関する

部分 R'/R と、レベル変換関数 $T(1)$ の性質に関する部分 $(1-b/a)$ とからなる以下の (26) 式の条件を得ることができる。

$$\begin{cases} \frac{R'}{R} \left(1 - \frac{b}{a}\right) \leq \frac{I'}{I} & \cdots I' \geq 0 \\ \frac{R'}{R} \left(1 - \frac{b}{a}\right) > \frac{I'}{I} & \cdots I' < 0 \end{cases} \quad \cdots (26)$$

【0097】なお、照明成分圧縮のためのレベル変換関数 $T(1)$ は、通常単調増加性を有するため、 a および b は正の値となり、以下の (27) 式が成立する。

【0098】

【数27】

$$1 - \frac{b}{a} \leq 1 \quad \cdots (27)$$

【0099】なお、 $1-b/a \geq 0$ は、 $a \geq b$ を意味するが、この場合には照明成分レベル R の近辺ではレベルが大きいほど大きな圧縮を施されることを意味している。なぜならば、レベル R の圧縮率は a であり、その近辺を一様に圧縮する場合にはレベル R 近辺におけるレベル変換関数 $T(1)$ の傾きは a である必要があるが、実

際の傾きはより小さい b であり、図11(A)に示すように高レベル側ほど大きく圧縮されることになる。逆に $1-b/a$ 、すなわち $a < b$ の場合には、図11(B)に示すように低レベル側ほど大きく圧縮されることになる。なお、図11(A)、(B)の縦軸および横軸は、図10と同様、それぞれイプシロンフィルタの出力(レベル変換関数 $T(1)$ への入力)およびレベル変換関数

$$\frac{R'}{R} \left(1 - \frac{b}{a}\right) \leq \frac{I'}{I} \left(1 - \frac{b}{a}\right) \leq \frac{I'}{I} \quad \cdots (29)$$

【0104】同様に、 $I' < 0$ の場合にも (26) 式が成立することは容易に分かる。

【0105】一方、図8(B)に示すとおり、エッジ中央部分においてはイプシロンフィルタは入力信号をそのまま出力することになるため、この部分では以下の (30) 式が成立すると考えられるが、この場合にも (26) 式が満足されることは明らかである。

【0106】

【数30】

$$\frac{R'(x, y)}{R(x, y)} = \frac{I'(x, y)}{I(x, y)} \quad \cdots (30)$$

【0107】本実施の形態においてイプシロンフィルタ12を除去し、 $R(x, y) = I(x, y)$ となるようにすれば、その結果はレベル変換のみによる従来法と等価となるが、これは画像全体に渡って (30) 式の条件が成立している場合に相当し、従来法ではレベル勾配の逆転が発生しないことになる。

【0108】これらの条件が満たされない部分では、(26) 式が成立するか否かはイプシロンフィルタ12の出力とレベル変換関数 $T(1)$ の特性に依存する。レベル変換関数 $T(1)$ の特性は照明成分をどのように圧

【0096】

【数26】

$T(1)$ の出力を表す。

【0100】エッジ付近以外の平坦部分では、イプシロンフィルタはローパスフィルタとして機能するため、一般的にその出力における空間的な変化の割合は、入力画像のそれよりも緩やかなものとなる。従って、これらの部分では以下の (28) 式 ((28A)、(28B)) に示す2つの条件が成立していると仮定できる。

【0101】

【数28】

$$\begin{cases} \left| \frac{I'}{I} \right| \geq \left| \frac{R'}{R} \right| & \cdots (28A) \\ \text{sign}(I'(x, y)) = \text{sign}(R'(x, y)) & \cdots (28B) \end{cases}$$

【0102】 $I' \geq 0$ の場合、(28) 式より $R' \geq 0$ となるため、 $1-b/a$ が負であれば常に (26) 式が成立することになる。また、 $0 \leq 1-b/a \leq 1$ である場合には、(28) 式から得られる $I'/I \geq R'/R$ より、以下の (29) 式のようになる。

【0103】

【数29】

縮するかによって決められるべきものであるため、ここではイプシロンフィルタ12の出力がどのように (26) 式の成立に影響を及ぼすかを4つの場合 (1) ~ (4) に分けて説明する。

【0109】(1) $I' \geq 0$ かつ R' が $1-b/a$ と同じ符号の場合；右辺、左辺がともに正となるため、 R'/R の絶対値が大きいほど (26) 式の成立が困難となる。

【0110】(2) $I' \geq 0$ かつ R' が $1-b/a$ と異なる符号の場合；右辺が正、左辺が負となるため、常に (26) 式が成立する。

【0111】(3) $I' < 0$ かつ R' が $1-b/a$ と同じ符号の場合；右辺が負、左辺が正となるため、常に (26) 式が成立する。

【0112】(4) $I' < 0$ かつ R' が $1-b/a$ と異なる符号の場合；右辺、左辺がともに負となるため、 R'/R が大きいほど (26) 式の成立が困難となる。

【0113】上記 (2) および (3) の条件のもとでは、近傍領域内において入力画像のレベルが高いほど少ない圧縮が施されることになるため、勾配の逆転が発生する可能性がない。従って R'/R がどのような値にな

っても常に (26) 式が成立することになる。これに対して (1), (4) の条件では、 R'/R の絶対値が大きいほど (26) が満たされない可能性が高くなるが、少なくともその比が入力画像と同じであれば (26) 式が成立することは上記に述べたとおりである。本実施の形態では、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 E を可変とし、エッジ部分においては入力画像にできる限り近い信号を出力することで、すなわち、エッジ強度 $G(x, y)$ が大きいほど、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 E が小さくなるようにしきい値を制御することで、勾配の逆転を最小限に抑制し、図 9 (B) に示したような不自然なパターン 90 が生じることのないよう、自然な画像を再現することを可能としている。

【0114】なお、図 3 に示したレベル変換関数 $T(1)$ はあくまでも一例であり、目的に応じて任意のものを用いることができることはいうまでもない。例えば、(1) 式や (2) 式に示した関数を用いても良い。

【0115】以上説明したように、本実施の形態によれば、入力画像上の各位置ごとにエッジ強度 $G(x, y)$ を算出すると共に、このエッジ強度 $G(x, y)$ に基づいて、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 $E(x, y)$ を制御して入力画像にフィルタ処理を施し、また、そのイプシロンフィルタ 12 からの出力値 $R(x, y)$ に応じて算出される係数 $F(R(x, y))$ を、(16) 式に示したように入力画素値 $I(x, y)$ に積算することによって、各画素ごとに画素値の変換を行ってダイナミックレンジの圧縮を行うようにしたので、複数の異なる照明が存在する場合にも、それらの境界を適切に抽出することを可能とし、不自然な画像パターンの発生を抑えて、主観的に好ましいダイナミックレンジの圧縮を実現できる。すなわち、イプシロンフィルタ 12 を用いて、入力画像から照明成分を抽出し、その照明成分を圧縮することにより、局所的なコントラストを保存したまま全体的なダイナミックレンジを削減し、主観的に好ましい再現画像を得ることができる。このとき、エッジ強度 $G(x, y)$ に基づいて、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 E を画素値 $I(x, y)$ の局所的な勾配に応じて適応的に変化させるようにしたので、線形ローパスフィルタを用いた場合やしきい値固定のイプシロンフィルタを用いた場合よりも、より正確に照明境界を抽出することができる。

【0116】[第 2 の実施の形態] 次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。なお、以下の説明では、上記第 1 の実施の形態における構成要素と実質的に同一の機能を有する部分には同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0117】図 12 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示している。本実施の形態に係る画像処理装置の全体的な機能は、上記第 1 の実施の形態と同様であるが、本実施の形態では、除算器 13 およ

びレベル変換器 14 (図 1) の代わりに、これらの機能をあわせ持った係数算出器 16 が設置されている点が、上記第 1 の実施の形態とは異なる。すなわち、本実施の形態は、上記第 1 の実施の形態で示した (16) 式に基づいてダイナミックレンジの圧縮を行うものである。

【0118】本実施の形態における係数算出器 16 では、イプシロンフィルタ 12 の出力 $R(x, y)$ に対して、図 13 に示すような係数算出関数 $F(1)$ を施して係数 $C(x, y)$ を算出する。係数算出関数 $F(1)$ は、上記第 1 の実施の形態で述べたように、レベル変換関数 $T(1)$ を用いて (15) 式によって得られる。係数算出器 16 によって算出された係数 $C(x, y)$ は、乗算器 15 に送られる。

【0119】本実施の形態における乗算器 15 には、入力画像を示す信号が直接入力されると共に、算出器 16 によって算出された係数 $C(x, y)$ が入力される。乗算器 15 では、入力画像の各画素値 $I(x, y)$ に対して対応する係数 $C(x, y)$ を積算することで画像信号を復元し、上記第 1 の実施の形態と同様、その結果の画像信号 $O(x, y)$ を図示しない伝送路、記憶装置または表示装置などに出力する。

【0120】本実施の形態においても、エッジ強度 $G(x, y)$ に基づいて、イプシロンフィルタ 12 のしきい値 $E(x, y)$ を制御して入力画像にフィルタ処理を施し、また、そのイプシロンフィルタ 12 からの出力値 $R(x, y)$ に応じて算出される係数 $F(R(x, y))$ を、入力画素値 $I(x, y)$ に積算することによって、各画素ごとに画素値の変換を行ってダイナミックレンジの圧縮を行うようにしているので、上記第 1 の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0121】[第 3 の実施の形態] 次に、本発明の第 3 の実施の形態について説明する。なお、以下の説明では、上記第 1 の実施の形態または上記第 2 の実施の形態における構成要素と実質的に同一の機能を有する部分には同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0122】図 14 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示している。本実施の形態に係る画像処理装置の構成は、上記第 1 の実施の形態 (図 1) とほぼ同じであるが、しきい値制御器 11 に、エッジ強度算出器 10 からの出力であるエッジ強度 $G(x, y)$ のほかに、さらに、入力画像の画素値 $I(x, y)$ が直接入力されている点が異なる。

【0123】本実施の形態におけるしきい値制御器 11 A では、後段のイプシロンフィルタ 12 で用いるしきい値 $E(x, y)$ を、エッジ強度 $G(x, y)$ のみではなく、入力画像の画素レベルによっても制御する。より具体的には、しきい値制御器 11 A では、入力画像の画素値 $I(x, y)$ が大きいほどしきい値 $E(x, y)$ が大きくなると共に、エッジ強度 $G(x, y)$ が大きいほどしきい値 $E(x, y)$ が小さくなるようにしきい値 E

(x, y) を制御する。

【0124】このようなしきい値制御は、以下のようにして実現できる。例えば、まず、あらかじめ設定された正の係数 r ($r \leq 1.0$) を用いて、以下の(31)式によって、入力画像の画素値 $I(x, y)$ が大きいほどその値が大きくなるような、仮のしきい値 $E_{tmp}(x, y)$ を設定する。

【0125】

【数31】

$$E_{tmp}(x, y) = rI(x, y) \quad \dots (31)$$

【0126】その後、このしきい値 $E_{tmp}(x, y)$ をエッジ強度 $G(x, y)$ により修正して実際に用いるしきい値 $E(x, y)$ を決定する。例えば、(8)式における正規化のための定数 E_{min} , E_{max} をそれぞれ 0.

0, 1.0 として、(8)式によってエッジ強度に応じた係数 $G(x, y)$ を算出するようにする。これを以下の(32)式のように、仮のしきい値 $E_{tmp}(x, y)$ に積算して最終的なしきい値 $E(x, y)$ を求める。これにより、入力画像の画素値 $I(x, y)$ が大きいほどその値が大きくなると共に、エッジ強度 $G(x, y)$ が大きいほどその値が小さくなるよう、しきい値 $E(x, y)$ が制御される。

【0127】

【数32】

$$E(x, y) = E_{tmp}(x, y)G(x, y) \quad \dots (32)$$

【0128】イプシロンフィルタ12のしきい値 $E(x, y)$ は、入力画素の空間的变化が照明成分の変化によるものか、物体表面の反射率の変化によるものかを分離する役割を担うが、物体表面の反射率の変化が小さい場合でも照明レベル自体が大きいと画素値 $I(x, y)$ の変化は大きくなる。すなわち、照明レベルの大きな変化と強い照明下における小さな反射率の変化とをどのように区別するかが問題となる。本実施の形態では、画素レベルが大きいほどイプシロンフィルタ12のしきい値 $E(x, y)$ を大きく設定するようにしているが、これにより画素値 $I(x, y)$ の変化における照明レベルの影響を軽減でき、より適切に照明成分を抽出することが可能となる。

【0129】以上説明したように、本実施の形態によれば、エッジ強度 $G(x, y)$ のみならず、入力画像の画素レベルを考慮して、イプシロンフィルタ12のしきい値 $E(x, y)$ の制御を行うようにしたので、イプシロンフィルタ12において、より適切に照明成分を抽出することが可能となる。

【0130】[第4の実施の形態] 次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。なお、以下の説明では、上記第1～第3の実施の形態における構成要素と実質的に同一の機能を有する部分には同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0131】図15は、本発明の第4の実施の形態に係

る画像処理装置の構成を示している。本実施の形態に係る画像処理装置の構成は、上記第3の実施の形態(図14)とほぼ同じであるが、特に、各画素ごとに2種類のしきい値 $E_{lo}(x, y)$, $E_{up}(x, y)$ を用いてイプシロンフィルタのしきい値制御を行うようにした点が上記第3の実施の形態とは異なる。

【0132】本実施の形態におけるしきい値制御器11Bでは、各画素ごとに大きさの異なる2種類のしきい値 $E_{lo}(x, y)$, $E_{up}(x, y)$ を算出し、それらによってイプシロンフィルタ12Aのしきい値制御を行う。すなわち、しきい値制御器11Bでは、例えば、あらかじめ設定された大きさの異なる2つの係数 r_l , r_u ($0.0 \leq r_l, r_u \leq 1.0$) を用いて、以下の(33)式((33A), (33B))のように、2種類の仮のしきい値 $E_{tmplo}(x, y)$, $E_{tmpup}(x, y)$ を算出する。そして、それらを第1のしきい値 $E_{lo}(x, y)$ および第2の $E_{up}(x, y)$ として、イプシロンフィルタ12Aに出力する。

【0133】

【数33】

$$E_{tmplo}(x, y) = r_l \times I(x, y) \quad \dots (33A)$$

$$E_{tmpup}(x, y) = r_u \times I(x, y) \quad \dots (33B)$$

【0134】本実施の形態におけるイプシロンフィルタ12Aでは、しきい値制御器11Bで算出された2つのしきい値 $E_{lo}(x, y)$, $E_{up}(x, y)$ によりしきい値処理を行う。イプシロンフィルタ12Aでの処理は、より詳しくは、例えば、図16に示した構成により、以下のようにして行われる。差分器20によって算出された差分値 $D(x, y)$ は、本実施の形態においては絶対値算出器21のほかに符号判定器24にも送られる。

【0135】符号判定器24では、差分値 $D(x, y)$ の符号を判定し、その結果をスイッチ27に送る。

【0136】第1の比較器25では、しきい値制御器11Bから送られてくる第1のしきい値 $E_{lo}(x, y)$ を用いて、第1の実施の形態と同様、(12)式により信号の選択を行う。すなわち、絶対値算出器21で算出された値 $AD(dx, dy)$ としきい値 $E_{lo}(x, y)$ とを比較し、その結果に応じて、注目画素の値 $I(x, y)$ または近傍画素の値 $I(x+dx, y+dy)$ のいずれか一方を選択し、それを値 $J(dx, dy)$ として出力する。

【0137】第2の比較器26では、しきい値制御器11Bから送られてくる第2のしきい値 $E_{up}(x, y)$ を用いて、第1の実施の形態と同様(12)式により信号の選択を行う。すなわち、絶対値算出器21で算出された値 $AD(dx, dy)$ としきい値 $E_{up}(x, y)$ とを比較し、その結果に応じて、注目画素の値 $I(x, y)$ または近傍画素の値 $I(x+dx, y+dy)$ のいずれか一方を選択し、それを値 $J(dx, dy)$ として出力

10

20

30

40

50

する。

【0138】スイッチ 27 では、符号判定器 24 の判定結果をもとに、第 1 の比較器 25 または第 2 の比較器 26 の出力のいずれか一方を選択し、線形ローパスフィルタ 23 に送る。スイッチ 27 では、例えば、符号判定結果が正であることを示している場合には、第 1 の比較器 25 の出力を選択する。逆に、判定結果が負である場合には、第 2 の比較器 26 の出力を選択する。

【0139】本実施の形態では、近傍画素の値 $I(x + dx, y + dy)$ が現在の注目画素の値（近傍領域 NB の中央の値） $I(x, y)$ よりも大きい場合にはしきい値 $E_{up}(x, y)$ が用いられ、小さい場合には E_{lo}

(x, y) が用いられる。すなわち、イプシロンフィルタ 12A において、高レベル側と低レベル側とで異なるしきい値を設定することが可能となっている。特に、第 2 のしきい値 $E_{up}(x, y)$ が第 1 のしきい値 E_{lo}

(x, y) よりも大きくなるようにすることで、第 3 の実施の形態と同様、画素値の変化に含まれる照明成分の影響を軽減することができ、より適切に照明成分を抽出することが可能となる。

【0140】[第 5 の実施の形態] 次に、本発明の第 5 の実施の形態について説明する。なお、以下の説明では、上記第 1 ～ 第 4 の実施の形態における構成要素と実質的に同一の機能を有する部分には同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0141】図 17 は、本発明の第 5 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示している。本実施の形態に係る画像処理装置の構成は、上記第 1 の実施の形態（図 1）と類似しているが、特に、はじめに入力画像の画素レベルに例えば対数変換などの非線形な変換を施すよう

にした点異なる。

【0142】すなわち、本実施の形態においては、回路の入力段に対数変換器 17 を設置し、はじめに入力画像の各画素値 $I(x, y)$ に対して（1）式に示した対数変換を施すようになっている。またこれに伴い、イプシロンフィルタ 12 で得られた照明成分 $R(x, y)$ を差し引くための除算器 13 が減算器 18 に、圧縮された照明成分 $CR(x, y)$ を非照明成分 $S(x, y)$ に積算するための乗算器 15 が加算器 19 に置き換えられている。これらは積算、除算が対数変換後には加算、減算となるという良く知られた事実に基づくものである。

【0143】対数変換器 17 によって対数変換された後の入力画像の画素値 $IL(x, y)$ は、エッジ強度算出器 10、イプシロンフィルタ 12、および減算器 18 に送られる。エッジ強度算出器 10 およびイプシロンフィルタ 12 では、その画素値 $IL(x, y)$ に基づいて、上記第 1 の実施の形態と同様の処理を行う。一方、減算器 18 では、各画素値 $IL(x, y)$ から、イプシロンフィルタ 12 で得られた照明成分 $R(x, y)$ を減算することにより、入力画像から照明成分を除去し、その結

果得られる非照明成分 $S(x, y)$ を加算器 19 に出力する。加算器 19 では、非照明成分 $S(x, y)$ に補正照明成分 $CR(x, y)$ を加算することで画像信号を復元し、上記第 1 の実施の形態と同様、その結果の画像信号 $O(x, y)$ を図示しない伝送路、記憶装置または表示装置などに出力する。

【0144】本実施の形態で用いた対数変換は、それ自体がダイナミックレンジの圧縮効果を持ち、入力レベルが高いほど画素値 $I(x, y)$ が大きく圧縮される。これにより、上記第 3 および第 4 の実施の形態と実質的に同様、画素値の空間的な変化における照明レベルの影響が軽減されることになり、より適切に照明成分を抽出することが可能となる。

【0145】なお、本実施の形態では、非線形な変換として対数変換を行う例について説明したが、対数変換以外の他の非線形な変換を行うようにしても良い。

【0146】

【発明の効果】以上説明したように、請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の画像処理方法または請求項 9 ないし 16 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置によれば、入力画像上の各位置ごとに算出されたエッジ強度に基づいて、イプシロンフィルタで用いられるしきい値を制御すると共に、そのしきい値の制御されたイプシロンフィルタからの出力値に応じて、画素値を変換するための係数を算出し、その算出された係数により、各画素ごとに画素値の変換を行うようにしたので、複数の異なる照明が存在する場合にも、それらの境界を適切に抽出することが可能となり、不自然な画像パターンの発生を抑えて、主観的に好ましいダイナミックレンジの圧縮を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】画像の走査方向を示す説明図である。

【図 3】レベル変換関数の例について示す説明図である。

【図 4】図 1 に示した画像処理装置におけるイプシロンフィルタの構成を示すブロック図である。

【図 5】従来法による再現画像と図 1 に示した画像処理装置による再現画像との違いについて示す説明図である。

【図 6】レベル変換関数と係数算出関数との関係について示す説明図である。

【図 7】イプシロンフィルタの効果について示す説明図である。

【図 8】しきい値固定のイプシロンフィルタのエッジ周辺における振る舞いについて示す説明図である。

【図 9】しきい値固定のイプシロンフィルタにおいて生ずるレベル勾配の逆転現象について示す説明図である。

【図 10】イプシロンフィルタの出力に用いられるレベ

ル変換関数とその微分値との関係を示す説明図である。

【図 11】 レベル変換曲線における入力レベルと圧縮率の大小関数について示す説明図である。

【図 12】 本発明の第 2 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 13】 図 12 に示した画像処理装置における係数算出器において用いられる係数算出関数の例について示す説明図である。

【図 14】 本発明の第 3 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 15】 本発明の第 4 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 16】 図 15 に示した画像処理装置におけるイプシロンフィルタの構成を示す説明図である。

【図 17】 本発明の第 5 の実施の形態に係る画像処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 18】 従来用いられているレベル変換関数の例について示す説明図である。

【図 19】 従来用いられている他のレベル変換関数の例について示す説明図である。

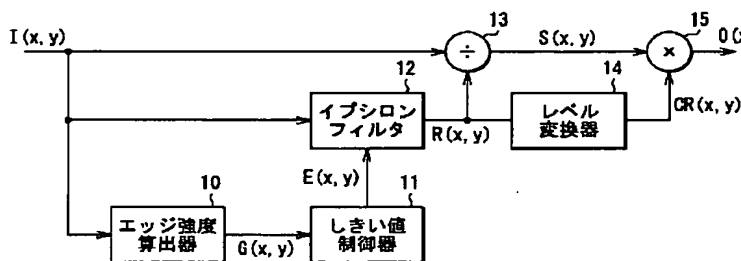
【図 20】 ヒストグラムイコライゼーションの原理について示す説明図である。

【図 21】 Multiscale retinex法の問題点について説明するための図である。

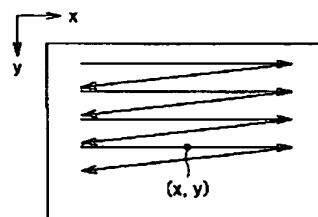
【符号の説明】

- 10 エッジ強度算出器、11 しきい値制御器、12 イプシロンフィルタ、13 除算器、14 レベル変換器、15 乗算器、16 係数算出器、17 対数変換器、18、20 差分器、19 加算器、21 絶対値算出器、22、25、26 比較器、23 線形ローパスフィルタ (LPF)、24 符号判定器、27 スイッチ。

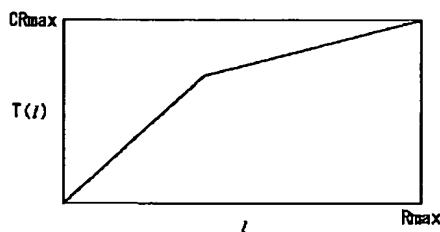
【図 1】



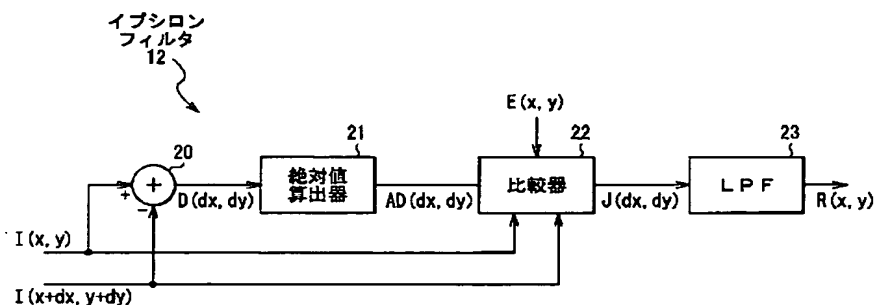
【図 2】



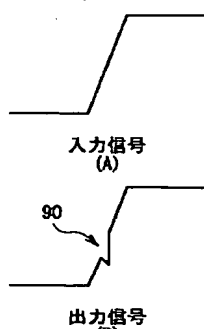
【図 3】



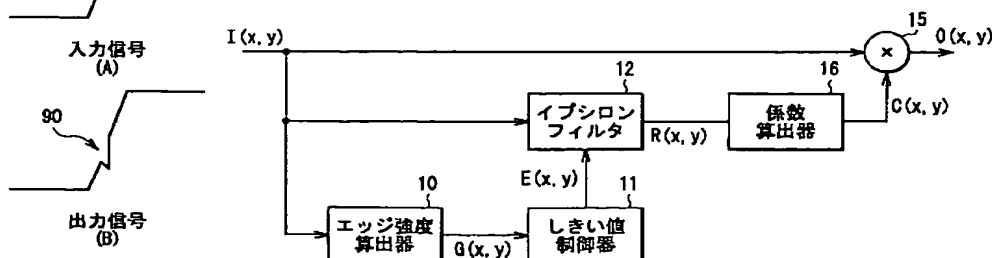
【図 4】



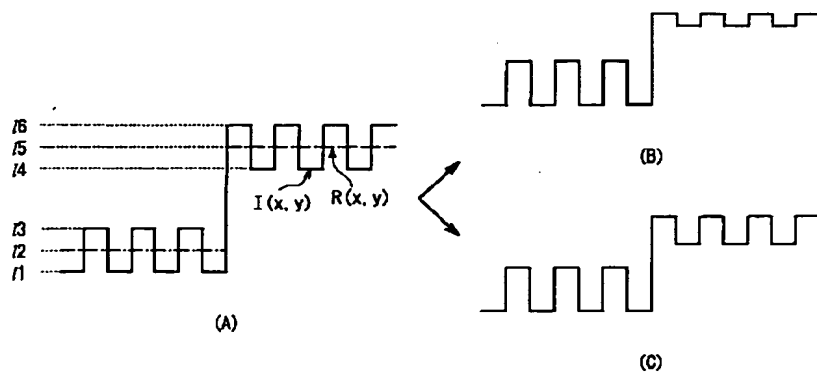
【図 9】



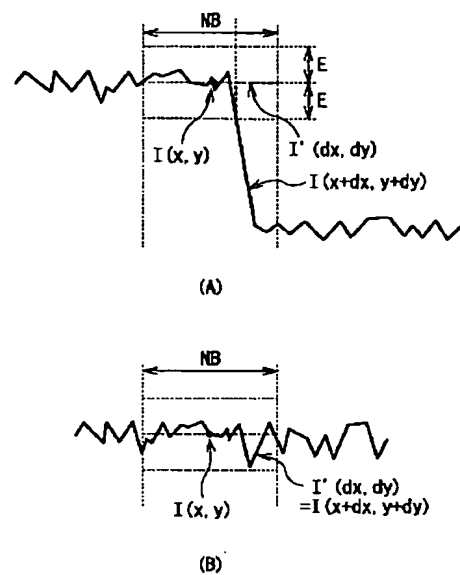
【図 12】



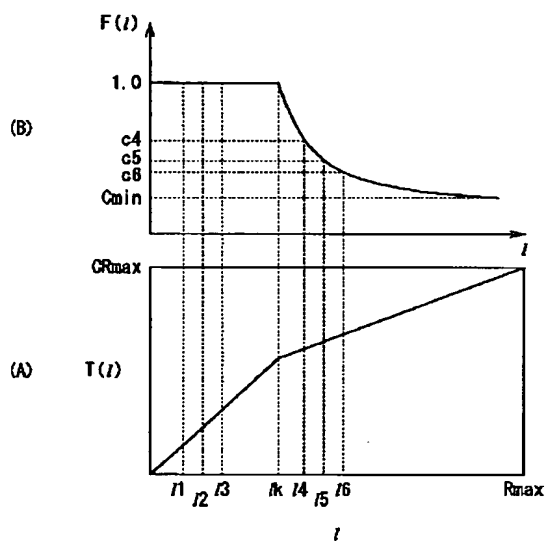
【図 5】



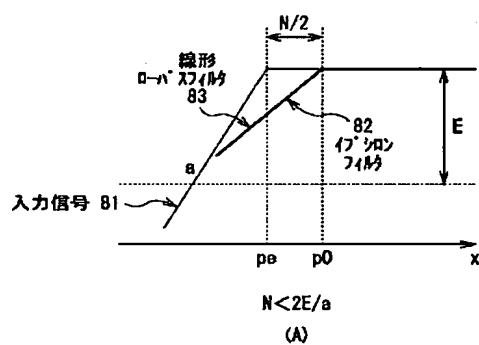
【図 7】



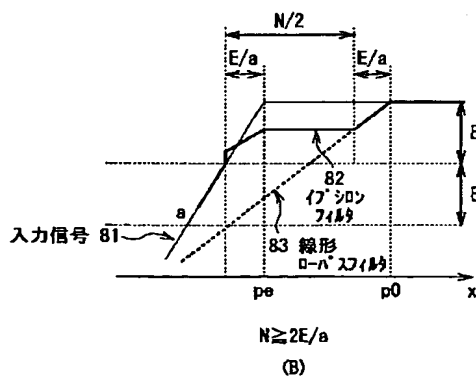
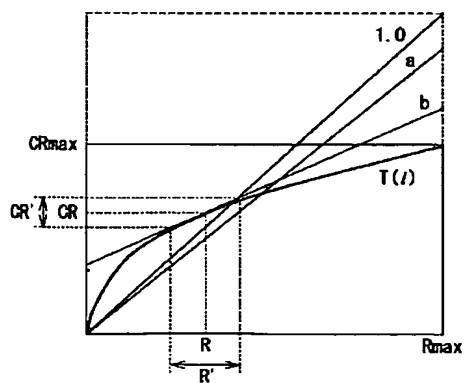
【図 6】



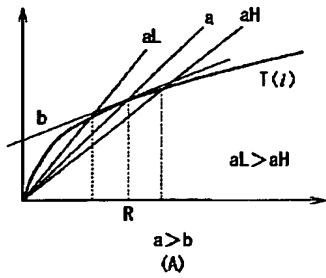
【図 8】



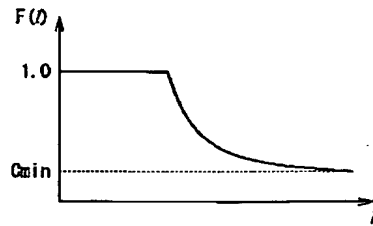
【図 10】



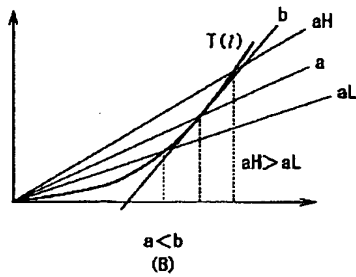
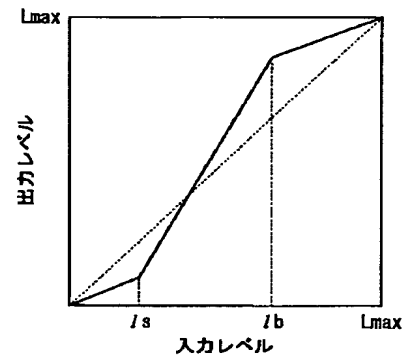
【図 11】



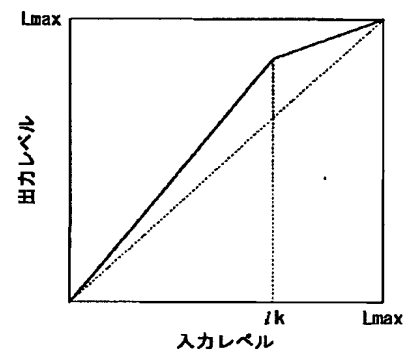
【図 13】



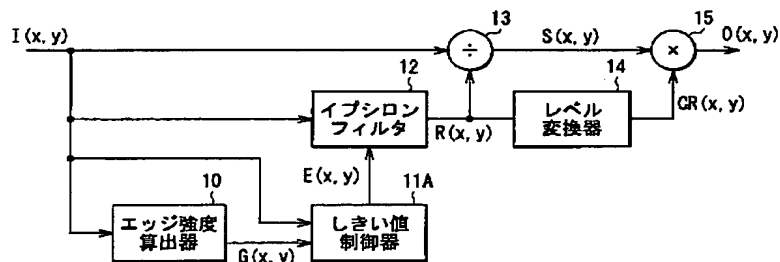
【図 18】



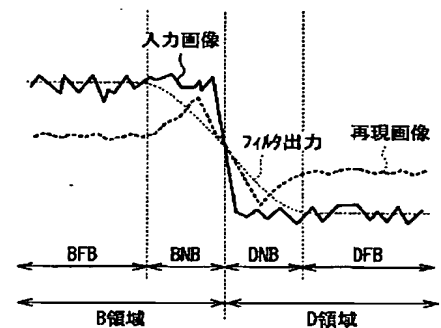
【図 19】



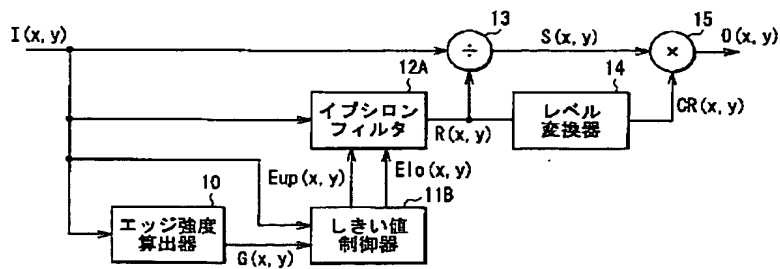
【図 14】



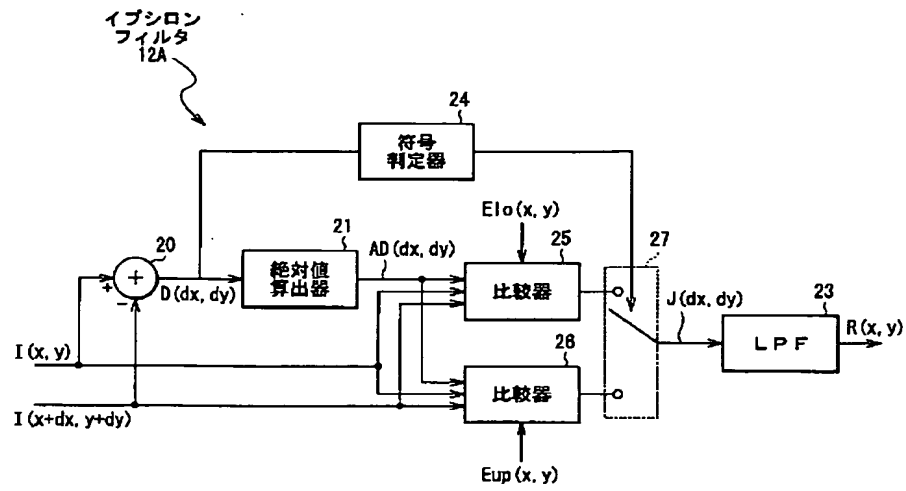
【図 21】



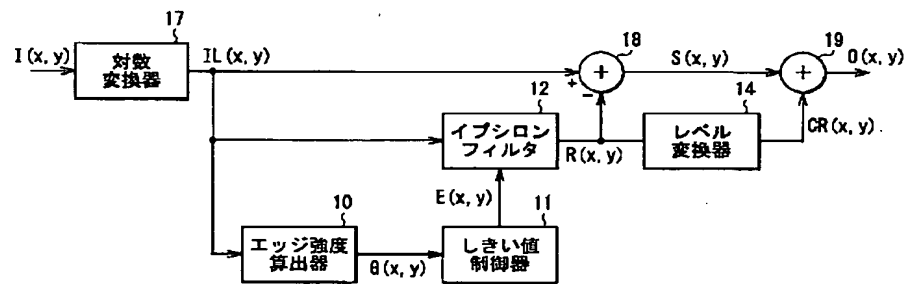
【図 15】



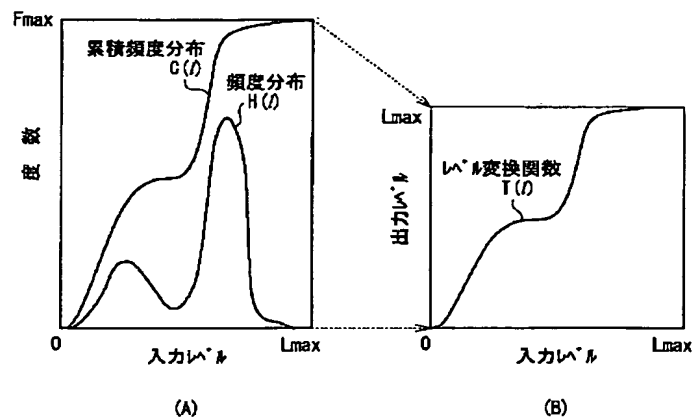
【図 16】



【図 17】



【図 20】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5B057 AA11 CA08 CA12 CA16 CB08
CB12 CB16 CC01 CE06 CE11
5C021 PA17 PA34 PA53 PA58 PA62
PA66 RA02 XA14 XA35 XA50
5C077 LL04 MP01 PP01 PP10 PP47
PP48 PQ08 PQ12 PQ20 SS02
SS06 TT02